

**Tesis Monográfica para optar al Título de  
Ingeniero Eléctrico**

**Título**

**“ESTUDIO DE AUDITORIA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA PLASTINIC SA,  
PARA LA BUENA ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”.**

**Autores:**

- Br. Kheyllid Dolores Carrero Selva 2011-36642
- Br. Bianka Eufemia Sáenz Ocampo 2011-37047

**Tutor:**

Ing. Juan González Mena

**Managua, octubre 2015**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción .....	5
2. Antecedente .....	8
3. Objetivos del estudio .....	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivo específico.....	10
4. Justificación .....	11
5. Marco teórico .....	12
5.1 Auditoria energética.....	12
5.2 Objetivos de la auditoria .....	12
5.3 Acepciones negativas.....	13
5.4 Producir más consumiendo lo mismo o menos energía. ....	14
5.5 Tipos de auditoria.....	14
6. Hipótesis y Variables .....	16
7. Metodología de Trabajo.....	17
7.1 Programación de los recursos y el tiempo .....	17
7.2 Recopilar datos y recorrido por la planta.....	18
7.3 Toma de mediciones en campo .....	18
7.4 Analizar los datos .....	18
7.5 Elaboración de la alternativa de proyecto .....	19
7.6 Elaborar el informe final.....	20
8. Análisis de la situación actual de la planta.....	21
9. Aire acondicionado.....	22
10. Motores eléctricos .....	26
11. Iluminación.....	32
11. Conclusiones.....	37
12. Recomendaciones .....	38
12. Bibliografía .....	40
13. Anexos .....	41

## ACRONIMOS

BTU: Unidad térmica británica de la energía (British Thermal Unit )

C : Coeficiente de descarga de orificio

Cp : Calor específico a presión constante (kJ/kg°C)

EER: (Energy Efficiency Ratio) Índice de eficiencia energética (BTU/W-h)

FB : Factor por balastro

FC : Factor de uso

FP: Factor de Potencia

GEI: Gases de efecto invernadero

Kg: Kilogramo

Ktep : Kilo tonelada equivalente de petróleo

P: Potencia (HP, W)

PM : Potencia Mecánica, (HP, W)

PE> Potencia Eléctrica, (HP, W)

Pesp: Potencia específica (kW/TR)

PRS: Periodo de retorno simple (años)

SEER : Seasonal Energy Efficiency Ratio, por sus siglas en inglés o Índice de eficiencia energética estacional (BTU/W-h)

TE : Temperatura (°C: grados Celsius, K: Kelvin, °F: grados Fahrenheit, R:

tep : Toneladas equivalentes de petróleo

Δ : Delta o diferencial

η: Eficiencia

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la empresa plastinic s,a motivo de estudio.	8
Figura 2: Horas de vida consumidas de la lámpara en cada período de operación	34

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: tipos de auditorias	16
Tabla 2: Consumo eléctrico de la empresa Plastinic año 2015	22

## 1. Introducción

La auditoría eléctrica permite determinar dónde y cómo se utiliza la energía. Se identifican los puntos del diagrama de proceso de mayor uso de energía haciendo resaltar aquellos donde esta se desperdicia y aquellos en donde es posible generar algún ahorro, actualmente la empresa Plastinic y que ahora su razón social es plásticos **Modernos** se ubica en la ciudad de Dolores, Carazo, actualmente la factura eléctrica es de C\$ 563,695.33 córdobas al mes, con un consumo promedio de 87,569.09 Kwh con estos datos se pretende determinar algún tipo de ahorro.

Además de incorporar una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto.

La auditoría para la mejora energética considera puntos clave sobre los que se basara la mejora de la Eficiencia Energética:

- Obtención de históricos: Primer paso para mejorar es conocer cuál es el punto de partida. Para ello es preciso definir los consumos energéticos existentes.
- Seguimiento de los datos, elaboración de mejoras y fijación de objetivos energéticos.
- Plan de mantenimiento donde se detallen las actividades a realizar y la periodicidad de las mismas.
- Sistemas de Gestión: Para lograr una mejora sostenible es necesario un Sistema de Gestión que permita una mejora continua.

Mediante la ejecución de esta auditoría eléctrica en la empresa Plastinic SA, se puede obtener información valiosa para el administrador de la energía, que le permitirá tomar las mejores decisiones para incrementar la eficiencia energética de los procesos, ya que ésta evalúa el desempeño de los equipos y sistemas consumidores de energía, mediante el análisis de sus parámetros de operación.

El presente estudio de Auditoría eléctrica en la empresa Plastinic SA, está orientado a brindar un panorama general de evaluación de sus sistemas energéticos dentro de sus procesos productivos.

Además también presentara las principales áreas de oportunidad de ahorro de energía que se tienen en la empresa, persiguiendo con ello:

- Identificar las fuentes de energía que utiliza la empresa o institución.
- Monitorear y registrar los consumos de los recursos energéticos.
- Organizar y sistematizar la información.
- Identificar y poner en marcha proyectos para el uso eficiente de la energía en la empresa o institución.

Para empezar la siguiente tesis describe como se presentara el Informe final del estudio de tesis de auditoría eléctrica en la empresa Plastinic SA, empezando por la introducción donde se define que es una auditoría eléctrica y cuáles son sus alcances.

A continuación se encuentra los antecedentes relacionado con este tipo de estudio en el sector industrial, además de la justificación del porque se necesario realizar este tipo de estudio en la industria.

Finalmente se definen los objetivos que se pretenden alcanzar con dicha auditoría, así como la metodología que se utilizara para la ejecución de la misma donde se identificarán las oportunidades de eficiencia energética que pueden ser aplicadas en la Mediana y Pequeña Empresa.

Además del marco teórico, se presenta el desarrollo de la misma donde los puntos clave para el análisis de ahorro fueron 3:

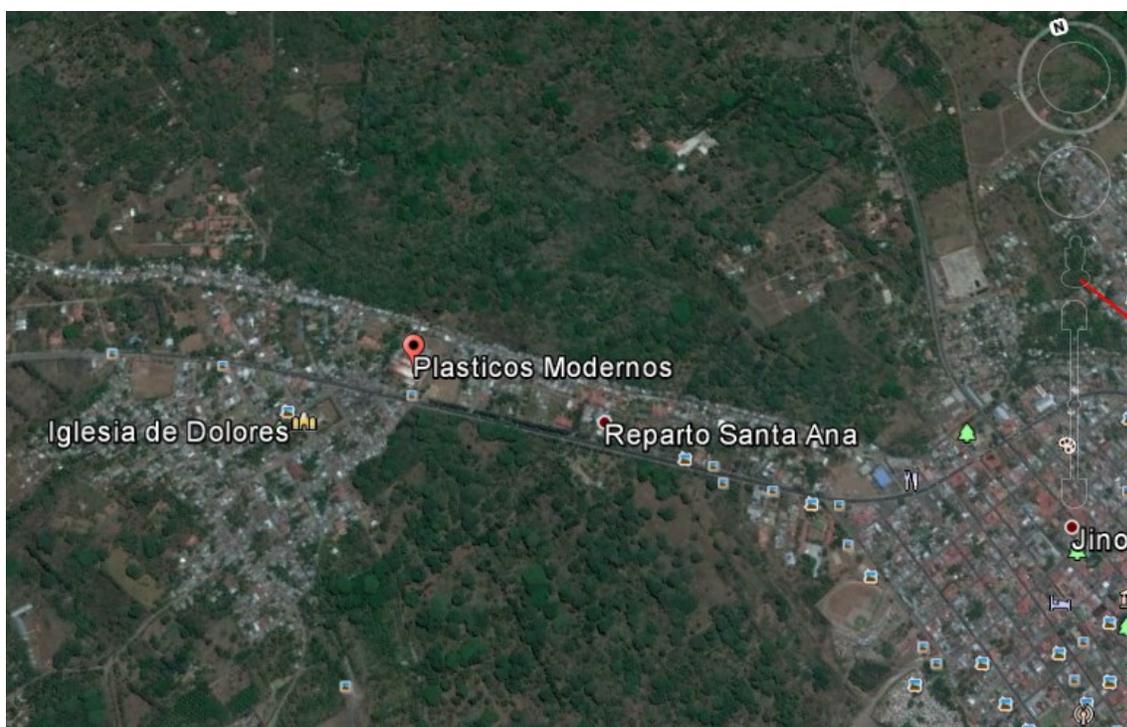
- Aire acondicionado
- Motores eléctricos
- Iluminación

Cabe señalar que el tipo de auditoría a realizar en esta tesis es la Auditoría de Nivel I , la cual consiste de una visita de medio día o un día con el propósito de hacer un levantamiento muy general de la información

### Ubicación del Proyecto

PLASTINIC (Ahora plásticos Modernos)

Municipio de dolores - Nicaragua, Managua.



**Figura 1:** Ubicación de la empresa Plastinic motivo de estudio.

## 2. Antecedente

El esfuerzo de implementar “Auditoría eléctrica” (AE) en la industria inició alrededor de 1970, originado en primer lugar por la necesidad de reducir los costos de operación. A pesar que la energía es vital para muchos procesos, esto no es necesariamente un componente crítico de costos.

Actualmente, la AE es vista de forma fragmentada debido a la ausencia de una metodología establecida.

Muy pocos practicantes de AE están preocupados por los resultados medioambientales de la aplicación de AE, aun cuando una parte de las opciones de AE pueden llevar a obtener beneficios medioambientales y estas no son vistas de forma relevante.

Para la AE la reducción de costos es la principal preocupación ya que favorecería de forma económica a las empresas, aun cuando estas opciones conlleven impactos negativos al medioambiente.

Según el Informe Mundial de Energía 2009 de la ONU, el aumento de la eficiencia energética y las tecnologías limpias permitirán que la cantidad de energía primaria requerida para un servicio dado pueda ser reducida, de forma rentable, entre un 25% hasta un 45% del consumo para los próximos 20 años en países en desarrollo.

Nicaragua al 2014 presenta, la intensidad energética más alta de la región centroamericana: 3 BEP (Barriles equivalentes de petróleo), demandando más energía por cada mil dólares de Producto Interno Bruto (PIB) que la mayoría de los países vecinos con niveles de desarrollo similar.

Actualmente la empresa ejecuto una serie de medidas entre ellas el balanceo de cargas eléctricas en los paneles de distribución, instalaciones de variadores de frecuencia en motores de 50 Hp y arranque estrella –Delta en motores.

Con la Instalación de Variadores de frecuencia permitió la disminución del consumo eléctrico.

Otros detalles relevantes que se pueden conseguir con el variador de frecuencia son los siguientes: disminución del ruido de la maquinaria, menor calentamiento del aceite porque únicamente se desplaza el aceite necesario para cada movimiento; reducción de sobrecargas en motor eléctrico; mejora de la vida útil del aceite y disminución de consumo en los equipos de enfriamiento de máquinas.

Con el sistema arranque estrella-Delta se redujo la corriente en el momento del arranque al alimentar a una tensión menor  $U_n/\sqrt{3}$ . Con ello se consigue que la intensidad baje a una tercera parte de la intensidad que se produciría en un arranque directo.

También el par de arranque se reduce a menos de la mitad, lo que hace imposible este sistema en motores de media potencia que arranquen con carga. Otro inconveniente es el corte de tensión que se produce al pasar de estrella-Delta.

A pesar de todos estos cambios el consumo de energía reactiva en el sistema está presente por lo que es necesario buscar un método de ahorro de energía.

### **3. Objetivos del estudio**

#### **3.1 Objetivo general**

- Realizar un estudio de auditoría eléctrica en la empresa Plastinic SA, que permita visualizar las principales áreas de oportunidad de ahorro de energía que se tienen en la empresa.

#### **3.2 Objetivo específico**

- Verificar las oportunidades de ahorro de energía en la planta.
- Aplicar una metodología que nos permita llevar a cabo el estudio
- Reducir los costos en la facturación de energía.
- Realizar recomendaciones de alternativas de proyecto para el ahorro de la energía.

## 4. Justificación

La importancia del estudio se fundamenta en poder analizar las oportunidades de ahorro de energía eléctrica en la empresa Plastinic SA, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde que se genera hasta que se consume.

Se pretende verificar en situ las mediciones de campo, como el voltaje, la corriente, consumo de potencia diario, mediciones del factor de potencia actual para confirmar los datos facilitado por la empresa.

Es importante destacar que esta experiencia impactara positivamente tanto en los estudiantes como en los docentes que desearan conocer y adentrarse en los estudios de auditoria eléctrica, ya que es uno de los ejes importantes de cualquier industria.

La metodología que se utilizará generará recomendaciones y lecciones aprendidas que pueden tomarse en la implementación de cualquier escenario de pequeña o mediana empresa.

Otro aspecto importante es que pocos practicantes de estudio de AE están preocupados por los resultados medioambientales de la aplicación de AE, aun cuando una parte de las opciones de AE pueden llevar a obtener beneficios medioambientales y estas no son vistas de forma relevante.

Para la AE la reducción de costos es la principal preocupación ya que favorecería de forma económica a las empresas, aun cuando estas opciones conlleven impactos negativos al medioambiente.

## **5. Marco teórico**

### **5.1 Auditoria energética**

Una auditoria energética podría resumirse como el conjunto de acciones necesarias para realizar un diagnóstico del uso que una empresa le da a la energía en sus diferentes actividades productivas y administrativas.

Por lo tanto, el objetivo de una auditoria energética es el de recomendar acciones que permitan un uso más eficiente de la energía. No se trata necesariamente de consumir menos energía.

La auditoría energética se puede considerar como una de la etapas dentro de un Programa de Uso Eficiente de la Energía, en la cual se obtienen los conocimientos necesarios sobre una planta, instalación o proceso que permite expresar en forma cuantitativa sus características de operación, con el objetivo de formular acciones que resulten en la reducción de costos, mediante la utilización óptima de los recursos energéticos.

En la intención de implementar una auditoria energética dentro de un programa de conservación y ahorro de energía es aconsejable resaltar la importancia de que exista un equipo de trabajo dentro de la empresa que tenga bajo su responsabilidad el tema de la energía.

### **5.2 Objetivos de la auditoria**

El objetivo de una auditoria es el de recomendar acciones para utilizar racionalmente la energía. No se trata de consumir menos energía.

La Auditoria Energética se puede considerar como una de las etapas dentro de un programa de uso racional de la energía, en la cual se obtienen los conocimientos necesarios sobre una planta, instalación o proceso, que permiten expresar en forma cuantitativa sus características de operación, con el objeto de formular acciones que resulten en la reducción de costos, mediante la utilización óptima de los recursos energéticos.

### **5.3 Acepciones negativas**

La palabra auditoria trae en muchas personas connotaciones del tipo de fiscalización, averiguación financiera e impositiva, inquisición policial, y en una palabra tiene un aire represivo. Es necesario presentar muy bien ante el personal de una instalación, en todos sus niveles, la verdadera y positiva naturaleza de la auditoria energética o técnica, que es el beneficio económico de la entidad.

Dentro de este contexto, se debe dejar en claro que el fin de este programa no es el de censurar a alguien, ni establecer que las cosas se estaban haciendo mal y que ahora si se van a enderezar, etc.

Otro aspecto importante es que el personal de operación se opone a cualquier acción que represente, aun remotamente, cualquier posibilidad de alterar la marcha continua, controlada o suave de su unidad.

El auditor debe aclarar que sus acciones se pueden realizar sin amenazar la rutina del proceso.

Algo esencial, especialmente si el auditor es externo, por ejemplo un consultor, es el de tener un alto grado de confidencialidad en el sentido de que tratará los datos y conocimientos sobre la entidad con total discreción.

Con todas las anteriores precauciones y cualesquiera otra que dicten las circunstancias, se busca lograr la indispensable colaboración de todo el personal, para poder obtener la información requerida.

#### **5.4 Producir más consumiendo lo mismo o menos energía.**

Además se debe tener en cuenta que la materia es energía, no sólo en el sentido físico del concepto, sino en que cada material o producto, representa la cantidad de energía que se requirió para obtenerlo, además de los costos de materia prima y de manufactura necesarios en su producción. De esta manera, evitar el desperdicio de materiales es parte integral de este objetivo.

Un beneficio colateral al de lograr un mejor uso de la energía es proteger el ambiente: la siguiente ecuación ha sido bien comprobada:

Energía contenida = energía aprovechada + contaminación en un combustible

#### **5.5 Tipos de auditoria**

Existen varias designaciones para los diferentes tipos de auditorías según la profundidad del análisis, sin embargo lo más común en nuestro medio es la siguiente:

- a) Auditoria energética preliminar o de Nivel I
- b) Auditoria energética detallada o de Nivel II

La diferencia entre cada una, se da, básicamente en la magnitud del estudio que se hace, orientada especialmente para auditores externos a la empresa. La Auditoria de Nivel I consiste de una visita de medio día o un día con el propósito de hacer un levantamiento muy general de la información, en la cual se determine la necesidad de continuar con la de Nivel II.

#### **Tabla 1: tipos de auditorias**

	<b>Auditorias Nivel I</b>	<b>Auditorias Nivel II</b>
<b>Objetivo:</b>	Promover la conservación de energía.	Establecer un progreso. Completo de conservación de energía.
Tipo de estudio	Visita general a la planta identificación de oportunidades de cambio	Visita a planta , mediciones ,análisis de proceso, datos ,identificación y cuantificación oportunidades de cambio
TIEMPO	Visita a planta: ½ o 1 día	Visita a planta 1 a 2 semana
SEGUIMIENTO	4-6 meses después de entrega de informe	Reunión con comité de conservación de energía y seguimiento 4-6 meses después de entrega de informe
REPORTE	Introducción Descripción de la planta Datos de consumo de energía Oportunidades de cambio inmediatas Oportunidades de cambio potenciales Recomendaciones generales	Evaluación Sumario ejecutivo Plan de ejecución Descripción de la planta y proceso Perfil de consumo de energía Descripción de Oportunidades de cambio Recomendaciones generales y específicas Apéndice

En la intención de implementar una auditoria energética dentro de un programa de conservación y ahorro de energía es aconsejable resaltar la importancia del comité de energía. Si el auditor es de la planta, probablemente ya se formó el comité o está en el proceso de formación. Si el auditor es de afuera, es necesario que se forme un comité para llevar a cabo las oportunidades de cambio sugeridas por el auditor.

En ambos casos, un comité de energía es el punto clave del programa de energía ya que por medio de él se manifiesta el apoyo de la gerencia, dotando recursos, facilitando personal y coordinando entre divisiones de la planta para tratar el tema del ahorro de energía. Si no se cuenta con un comité en la planta, es muy importante y necesario iniciar su formación.

## **6. Hipótesis y Variables**

### **Hipótesis**

Se puede realizar una auditoría eléctrica en una pequeña o mediana empresa que permita visualizar las oportunidades de áreas de ahorro de energía en la misma.

### **Variables**

1. Pertinencia de la Información.
2. Funcionalidad de la Información.
3. Adecuación de la Información.

## **7. Metodología de Trabajo**

Se requiere asegurar que el proyecto empiece uniformemente y se proceda de manera eficiente, considerando estos pasos:

- Revisión de las prioridades para evaluación de la planta.
- Preparación de un itinerario detallado del proyecto basado en esas prioridades.
- Preparación de unas listas de revisión, cuestionarios y otras herramientas para recolección y proceso de los datos

El alcance del trabajo a realizar será:

- Toma de datos inicial
- Auditoría energética de cada una de las instalaciones eléctricas ( Paneles de Distribución)
- Auditoría energética de cada uno de los aparatos consumidores de energía (Iluminación, aire acondicionado, motores etc.)
- Análisis de resultados finales
- Elaboración de propuestas de actuación

A continuación se describen los pasos a seguir:

### **7.1 Programación de los recursos y el tiempo**

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible de la planta, tal como:

- Nombre de la empresa.
- Rama industrial a la que pertenece y productos que elabora.
- Localización de la planta.
- Horarios típicos de operación.
- Consumos anuales de los energéticos utilizados por la planta.

## **7.2 Recopilar datos y recorrido por la planta**

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la planta, tales como: historial de producción y consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a toda la planta. En este paso se pretende obtener:

- Historial de consumo y producción
- Inspección visual
- Registro de levantamiento de datos

## **7.3 Toma de mediciones en campo**

En esta actividad se realizarán las mediciones de los parámetros en el sistema eléctrico con el Fluke 43B (POWER QUALITY ANALYZER), con la finalidad de determinar la eficiencia energética de los equipos, así como obtener información que permita proponer mejoras. Para esto se pretende realizar mediciones en:

- Paneles eléctricos de Distribución
- Motores
- Iluminación
- Aire acondicionado

## **7.4 Analizar los datos**

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la AE, es la realización de los balances de energía.

Por otra parte para asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante el contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación. Para ello se trabajara en:

- Elaboración de balances de energía
  
- Medidas de ahorro de energía

## **7.5 Elaboración de la alternativa de proyecto**

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá seleccionar la alternativa de proyecto que mejor resulte, donde esta alternativa de ahorro propuestas presente la siguiente información:

- Número descripción de la medida
- Resumen que contiene:
  - Ahorro de Energía (kWh/año).
  - - Ahorro económico (USD/año).
  - Inversiones necesarias (USD).
  - Periodo de Recuperación de la Inversión (años).
  
- Descripción de la situación actual. Breve descripción de la situación actual que dé pie a la medida propuesta.
- Cálculo de los ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida.
- Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del período de retorno de la inversión.

## **7.6 Elaborar el informe final**

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio de eficiencia eléctrica , haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

Este informe también deberá de presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente para que se puedan comparar con los parámetros energéticos de diferentes plantas.

## 8. Análisis de la situación actual de la planta

A continuación se presenta el historial de consumo de la planta y su proyección en los últimos meses del año 2015, esto de no hacerse ningún cambio.

Tabla 2: consumo en KW de la empresa Plastinic año 2015

2015	KWH	KVAR	KW	F.P	DIAS	C\$	\$ USA	KILOS BPT
ENERO	88,250.00	40,250.00	273	0.91	31	549,914.68	<b>21,705.56</b>	99,805.00
FEBRERO	81,600.00	39,550.00	224	0.9	28	497,761.66	<b>19,565.80</b>	90,802.66
MARZO	86,150.00	42,000.00	235	0.9	31	524,612.00	<b>20,544.18</b>	86,981.00
ABRIL	68,650.00	51,500.00	263	0.91	30	464,110.00	<b>18,099.74</b>	78,270.00
MAYO	85,800.00	60,250.00	262	0.91	31	531,964.00	<b>20,662.97</b>	78,025.00
JUNIO	80,800.00	60,250.00	262	0.91	31	531,964.00	<b>20,662.97</b>	93,955.00
JULIO	76,700.00	34,680.00	221	0.91	31	485,808.00	<b>18,706.87</b>	88,695.00
AGOSTO	75,650.00	34,650.00	221	0.91	31	483,163.00	<b>18,537.99</b>	71,617.00
SEPTIEMB.	75,300.00	34,450.00	217	0.91	30	482,264.00	<b>18,427.00</b>	80,880.00
OCTUBRE	84,760.00	39,900.00	235	0.91	31	538,932.00	<b>20,509.80</b>	85,342.00
NOVIEMBRE	97,350.00	43,750.00	228	0.91	30	684,395.25	<b>25,875.06</b>	100,347.00
DICIEMBRE	60,250.00	27,650.00	231	0.91	31	425,760.00	<b>16,078.55</b>	65,832.00
<b>TOTALES</b>	<b>961,260.00</b>	<b>508,880.00</b>	<b>2,872.00</b>		<b>366.00</b>	<b>6200,648.59</b>	<b>239,376.48</b>	<b>1020,551.66</b>
<b>PROM MES</b>	<b>87,387.27</b>	<b>46,261.82</b>	<b>261.09</b>	<b>0.99</b>	<b>33.27</b>	<b>563,695.33</b>	<b>21,761.50</b>	<b>85,045.97</b>

Una vez realizado las mediciones de campo se desglosa cada oportunidad de ahorro según los tipos de equipos analizados.

## 9. Aire acondicionado

Para evaluar el uso eficiente de los sistemas de aire acondicionado se debe tomar en cuenta:

- Revisar la carga de enfriamiento.
- Revisar en las áreas que poseen aire acondicionado con posibles puntos calientes dentro del local.
- Revisar el sistema de limpieza que se realiza a los aires acondicionados.
- Investigar si se posee un correcto plan de mantenimiento de aire.
- Evaluar si los lugares que poseen aires acondicionados contienen cortinas para evitar las pérdidas de calor por radiación solar del exterior.
- Verificar si existe un estado hermético en los lugares de instalación.
- Analizar la posibilidad de transferencia de tecnología.

### a) Eliminar el acondicionamiento de aire cuando no se trabaja.

Situación actual: Se utiliza un aire acondicionado (AA) de forma continua, se obtuvieron ahorros considerables al eliminar el clima artificial cuando este no era indispensable. La potencia instalada por climatización es de 230 kW, el tiempo de trabajo son 3,600 horas al año.

Con proyecto: se propone un estricto horario de apagado y encendido de estas unidades en horas no laborables reduciendo el tiempo de uso a 2,880 horas al año.

La reducción del acondicionamiento de aire trae como consecuencia un ahorro de 144,000 Kwh/año de energía eléctrica durante la temporada en que se requiere el servicio.

El costo de la energía es de 0.24 US\$/Kwh

#### Beneficios económicos

Consumo de energía actual	=200 kW x 3,600 horas/ano =720,000 Kwh/año
Consumo de energía propuesto	=200 kW x 2880 horas/ano =576,000 Kwh/año
Ahorro de energía	=720,000-576,000=144,000kWh/año
Beneficio Económico	=144,000 Kwh/año x 0.24 US\$/Kwh =34,560 US\$/año

Esta oportunidad de ahorro no necesita inversión, se trata solamente de ocupar el sistema de climatización cuando realmente se necesite, en este caso se lograron bajar las horas de ocupación del sistema en un 20%.

Además del ahorro en el consumo energético, se percibe una disminución en los GEI de 76,352 kg de CO<sub>2</sub>, principal responsable del cambio climático.

#### **b) Sustitución de equipos de climatización de baja eficiencia por equipos de alta eficiencia.**

Situación actual: Las oficinas trabajan con un aire acondicionado de 18,000 BTU/h y trabaja 2,880 horas al año.

Se estima un factor de uso del equipo del 67% ya que son equipos de refrigeración que tienen pausas en su operación normal para mantener la temperatura programada. Se realizó la medición de la potencia eléctrica consumida por el equipo, lo cual fue de 2.3 kW.

Con Proyecto: Se propone el cambio de este aire acondicionado por uno de mayor eficiencia, se recomendó un aire acondicionado de SEER 18.

El SEER determina el desempeño energético global de un equipo de aire acondicionado para periodos climáticos en que se requiera un enfriamiento del aire, principalmente la estación de verano.

Por este motivo las condiciones de operación bajo las cuales es determinado varían considerablemente con respecto al EER. Al cual se determina de la siguiente manera:

$$EER = \frac{Q_{CE}}{PE}$$

Donde

$Q_{CE}$  : Es la potencia de enfriamiento estacional en BTU/h

PE: Es la potencia eléctrica consumida por el equipo (W)

*Se calcula el SEER actual del equipo analizado de la siguiente forma:*

$$EER = \frac{18,000 \text{ BTU/h}}{2130} = 8.45 \frac{\text{BTU}}{\text{Wh}}$$

*El equipo propuesto demanda una potencia de:*

$$W = \frac{Q_c}{EER} = \frac{18,000 \text{ BTU/h}}{18 \frac{\text{BTU}}{\text{Wh}}} = 1000 \text{ Watts} = 1 \text{ kw}$$

Tabla: cálculos de beneficios

ACTUAL		PROPUESTO	
Capacidad (BTU/hora)	18,000	Capacidad (BTU/hora)	18,000
Horas de trabajo al año	2,880	Horas de trabajo al año	2,880
Factor de uso	67%	Factor de uso	67%
Potencia Medida (P <sub>A</sub> )	2.3	EER	18
Consumo del AA (C <sub>A</sub> ) = P <sub>A</sub> x Horas/año x Factor de uso	4,438	Potencia (P <sub>P</sub> )	1
SEER (BTU/Kwh)	8.45	Consumo del AA (C <sub>P</sub> ) = P <sub>P</sub> x Horas/año x Factor de uso	1,929.6
Energía ahorrada al año (CA-CP) (Kwh)	2,508	Ahorro de potencia al mes (CA-CP) (kW)	1.3
Beneficio Ambiental kg de CO2	1.115		

$$\text{Beneficios económicos} = \left( \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \text{ ahorrados} \times \frac{\text{US\$}}{\text{KWh}} \right) + \left( \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \text{ ahorrados} \times 12 \frac{\text{mese}}{\text{año}} \times \frac{\text{US\$}}{\text{KW}} \right)$$

$$\text{Beneficios económicos} = \left( 2508 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \times 0.24 \frac{\text{US\$}}{\text{KWh}} \right) + \left( 1.3 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mese}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{US\$}}{\text{KW}} \right) = 976.4$$

## **10. Motores eléctricos**

Los sistemas electromotrices están en todas las empresas industriales y son de las áreas intensivas en el consumo de energía y poseen un alto potencial de ahorro de energía.

**Se recomiendan realizar las siguientes actividades:**

### **Recopilación de información.**

- Datos de placa, aplicación de los motores.
- Horas de operación por día de semana y fin de semana.
- Identificación de los motores rebobinados y el número de reparaciones, el lugar en donde se reparó, la causa por la que se quemó y la fecha de la última reparación.
- Tipo de control o la dependencia con respecto a otro equipo con la que operan.

### **Mediciones.**

- A los motores eléctricos mayores a 7.5 hp y con más de 4,000 horas de operación al año, efectuar mediciones necesarias, para determinar las condiciones de carga de las variables eléctricas.
- Realizar mediciones puntuales en motores con carga constante.
- Realizar mediciones continuas en motores con carga variable.

## **Análisis de las mediciones.**

- Hacer las gráficas de las mediciones y discutir las con el personal de la planta.
- Describir el comportamiento del perfil de demanda.
- En base al porcentaje de carga y diseño del motor se determinara la eficiencia de operación de los motores, utilizando las curvas características de funcionamiento.
- Analizar los factores que afectan la eficiencia de los motores como son: Porcentaje de variaciones de voltaje, porcentaje de desbalance de voltaje entre fases.

### **a) Sustitución de motores con bajo factor de carga por motores más eficientes.**

#### **Situación actual:**

Según las mediciones hay motores sobredimensionados, que están funcionando a factores de carga por debajo del 75%. Dos motores de 3HP y uno de 5HP.

En la tabla 4 se presenta la eficiencia de los motores para distintos factores de carga de operación. Tomando en cuenta la eficiencia y la disponibilidad del equipo en el mercado se recomienda adquirir un equipo con un factor de carga entre el 50 y 80%.

**Tabla : Valores de eficiencia según el porcentaje factor de carga**

POTENCIA DEL FACTOR DE CARGA				
	25%	50%	75%	100%
1	39	59	69	72
2	41	61	73	74
3	48	64	75	77
5	51	67	78	78
10	55	69	79	79
15	56	70	81	80
20	63	77	85	83
25	68	85	89	87

Para calcular el factor de carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{Pr}{Pn}$$

**Dónde:**

FC: Factor de carga

Pr: Potencia real (kW. W)

P n: Potencia nominal del motor (HP,KW)

### **CASO PROPUESTO**

Se recomienda la sustitución de los motores sobre dimensionados para garantizar un factor de carga entre 75 y 80%. Para determinar la potencia requerida se puede determinar de dos formas:

$$1) FC = \frac{0.87KW}{2.238} = 0.388$$

$$2) FC = \frac{0.67KW}{2.238} = 0.299$$

$$3) FC = \frac{1.16 KW}{3.730} = 0.31$$

## FORMA 2

$$P_n = \frac{P_e}{FC} \quad \text{Donde}$$

P<sub>n</sub>: Potencia del motor propuesto (HP, KW)

P<sub>e</sub>: Potencia del eje de la maquina (HP, KW)

$$1) FC = \frac{0.87KW}{0.80} = 1.08kw = 1.45hp$$

$$2) FC = \frac{0.67KW}{0.80} = 0.83kw = 1.12hp$$

$$3) FC = \frac{1.16 KW}{0.80} = 1.45kw = 1.94hp$$

Se recomienda sustituir los dos de 3HP por dos motores de 1.5HP, y el de 5HP por uno de 2 HP. Para calcular el ahorro de acuerdo a la eficiencia, se determina con los aproximados de la tabla 4:

$$\text{Ahorro estimado} = P_n \times FC \times \left( \frac{100}{\eta_a} - \frac{100}{\eta_n} \right)$$

Se estiman las eficiencias del motor que se eliminó, con la tabla 4, la eficiencia con un FC=75% o 0.75 es de  $\eta_n=75\%$  y eficiencia con un FC=38.8 o 0.388 es  $\eta_a=64\%$  (estimado aproximado) y 3HP.

$$\text{Ahorro estimado} = 2.238kw \times 0.388 \times \left( \frac{100}{55} - \frac{100}{75} \right) = 0.42kw$$

FC=0.299 estimado  $\eta_a=0.52$  y 3HP

$$\text{Ahorro estimado} = 2.238kw \times 0.299 \times \left( \frac{100}{52} - \frac{100}{75} \right) = 0.32kw$$

FC=0.31 estimado  $\eta_a=0.55$  y 5HP

$$\text{Ahorro estimado} = 3.73kw \times 0.31 \times \left( \frac{100}{52} - \frac{100}{75} \right) = 0.56kw$$

Ahorro total en los tres motores retirados es 1.3kw

$$\text{Ahorro consumo} = \text{Ahorro}_{\text{total}} \text{ kW} \times \frac{12h}{\text{día}} \times \frac{22\text{día}}{\text{mes}} \times \frac{12\text{mes}}{\text{año}} = \mathbf{4,147.2 \text{ Kwh anual}}$$

Se obtiene ahorros económicos en base a la reducción de consumo de 4,147.2 kWh anual, que equivale a 787.96 \$/año. Además se percibe una disminución en los gases de efecto invernadero (GEI) de 2,183 kg de CO<sub>2</sub>, principal responsable los cambios climáticos. La inversión es de \$1,600 y el periodo simple de recuperación es de 2.5 años.

**Nota:** Hay que tomar en cuenta que la alternativa es factible si el factor de carga del motor actual es menor a 50%, y que funcione al menos 8 horas al día. Los motores retirados pueden ser utilizados en otras máquinas y usarlos en su factor de carga adecuado.

#### **b) Cambio de motor de eficiencia estándar a uno con eficiencia Premium.**

##### **Situación actual**

La empresa posee un motor de eficiencia estándar que trabaja 4,500 horas año, con una potencia de 7 HP (5.22 kW) y eficiencia de 75 % a plena carga.

##### **Solución**

Se propone realizar el cambio de este motor por uno de alta eficiencia de la misma potencia que trabaje las mismas horas con una eficiencia de 90 % trabajando a plena carga.

$$(n) = \frac{PM}{PE}$$

$$PE = \frac{PM}{n}$$

$$PE \text{ Actual} = \frac{5.22}{0.75} \text{ kW} = 6.96 \text{ W}$$

El motor estándar necesita un suministro de potencia de 6.96 kW para brindar una potencia mecánica de 7 HP (5.22 kW).

$$P_E \text{ Propuesto} = \frac{5.22}{0.90} \text{ kW} = 5.79$$

El motor estándar necesita un suministro de potencia de 5.79 kW para brindar una potencia mecánica de 7 HP (5.22 kW).

Tabla : cálculo de beneficios

<b>MOTOR ACTUAL (Estándar)</b>	
Potencia Mecánica (HP)	7.00
PA-Potencia Eléctrica (kW)	6.96
horas al año	4,500
<b>MOTOR PROPUESTO (Premium)</b>	
Potencia Mecánica (HP)	7.00
PP-Potencia Eléctrica (kW)	5.79
horas al año	4,500
<b>AHORROS</b>	
Ahorro Energía ((PA-PP) x horas/año)	5,279.89
Beneficio Económico (US\$/año)	1,267.17
Inversión (US\$)	800
PRS	1
Beneficio Ambiental (kg CO2 al año)	813

## 11. Iluminación

Este es uno de los sistemas con mayor potencial de ahorro en las industrias debido a la desinformación de las nuevas tecnologías de ahorro o el mal empleo de la iluminación. Su análisis es rápido y sus resultados se muestran a corto plazo.

- Recopilación de información y mediciones.
- Tipo de luminarias, tipo de foco, ubicación, horas de operación y tipo de control.
- Color de paredes y pisos.
- Mediciones de niveles de iluminación.
- Identificación de los circuitos de alumbrado.
- Plantear las propuestas de iluminación.

### Situación actual

En la actualidad la empresa opera 8 horas por día, de lunes a sábado (288 días al año). Un total de 1,400 lámparas fluorescentes de 110 watts. Debido a la poca iluminación de la planta estas pasan encendidas las 16 horas del día.

### Caso propuesto

Reducir las luces innecesarias cuidando los niveles de iluminación óptimos, únicamente para las horas laborales (10 horas diarias).

#### 1) Eliminar alumbrado innecesario

Tabla 6: Beneficios de la propuesta técnica

Ahorro anuales de electricidad	$= (16-10) \text{ hr/día} \times 288 \text{ días/año} \times 0.12 \text{ KW/lámpara} \times 1400 \text{ lámparas} = 331\,776 \text{ Kwh/año}$
Ahorros anuales en costos de electricidad	$= 331,776 \text{ kWh/año} \times 0.24 \text{ US\$/kWh} = 79,626 \text{ US\$/año}$

**Ahorro anual**= consumo actual–consumo propuesto hora/día x numero días/año x potencia KW/lámpara x número de lámparas

Deben agregarse a los costos por concepto de reemplazo de lámparas, estos dependen, entre otras cosas, del ciclo de operación actual. Los costos anuales por reemplazo de lámparas fluorescentes se calculan a como sigue:

$$\text{Costo anual} = (P+H) \times \left(\frac{cxd}{L}\right) \times N \text{ por reemplazo}$$

Dónde:

P: precio de reemplazo de la lámpara

H: costo de la mano de obra

C: horas de vida de la lámpara por periodo de operación

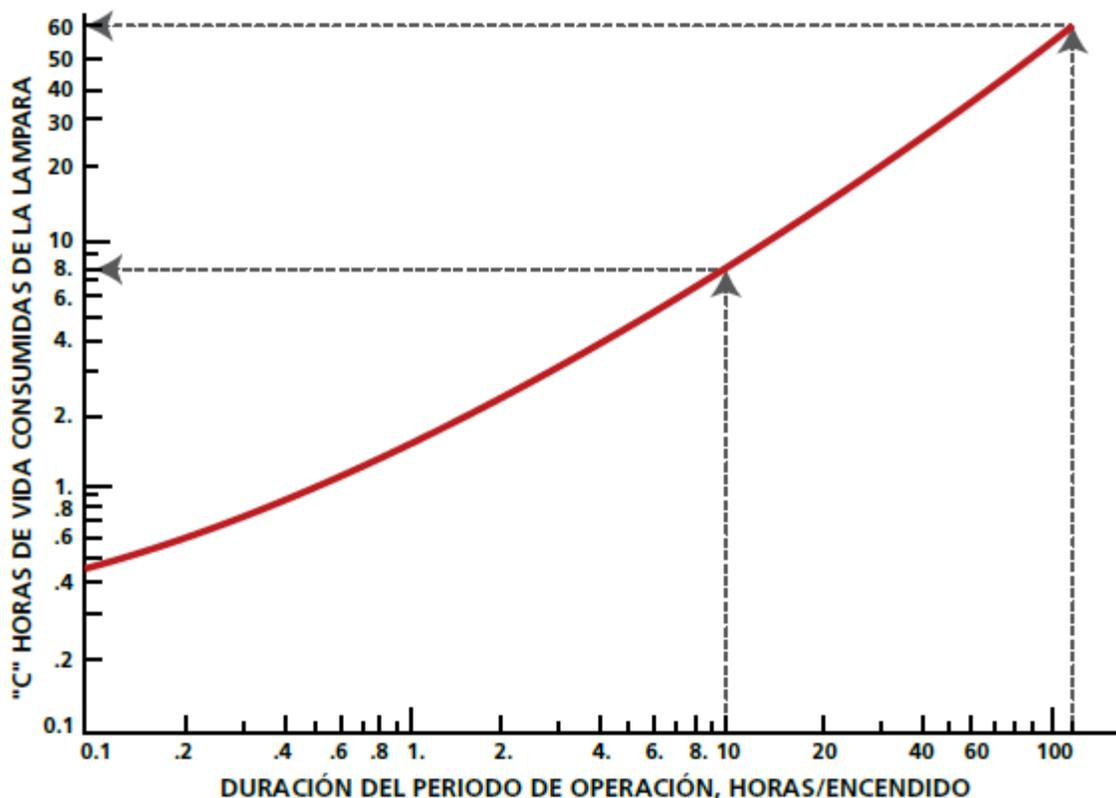
d: Número de periodos de operación por año

L: vida promedio de la lámpara

N: número de lámparas

Para conocer el periodo de operación de la lámpara se hace uso de la siguiente gráfica:

**Figura 2:** Horas de vida consumidas de la lámpara en cada período de operación



**Tabla 7: Costo actual del replazo**

Costo del replazo (viejo)	$=(2+3.5)\text{US\$/lámpara} \cdot 60\text{h/}$ $\text{periodo} \cdot 50\text{periodos} \cdot 1600 \text{ lámparas}/1200\text{hr}$ $=2, 200 \text{ US\$/año}$
---------------------------	---

Con un nuevo plan de 250 periodos de 10 horas cada uno, C es igual a 7.5

**Tabla 8: Costo del replazo propuesto**

Costo del replazo (nuevo)	$=(2+3.5)\text{US\$/lámpara} \cdot 7.5\text{h/}$ $\text{periodo} \cdot 250\text{periodos} \cdot 1600 \text{ lámparas}/1200\text{hr}$ $=1, 890.63 \text{ US\$/año}$
---------------------------	--

<b>BENEFICIOS</b>	
<b>Beneficio de la propuesta técnica. (US\$/año)</b>	79,626.24
<b>Beneficio por el disminución del precio de replazo (US\$/año)</b>	825.00
<b>Beneficio total (US\$/año)</b>	80,451.24

Además se percibe una disminución en los gases de efecto invernadero (GEI) de 489, 720 kg de CO<sub>2</sub>, principal responsable los cambios climáticos

En este ejemplo se considera un costo de mano de obra de US\$ 2 por lámpara, con un precio de US\$ 3.50 por lámpara, una vida promedio de 12, 000 horas y como ya se mencionó, el número de lámparas “n” es de 1,600.

El antiguo plan donde se tenía  $5 \times 16 = 80$  h, de operación, se encuentra que  $c = 80\text{h}$ , aproximadamente. Había 50 periodos de operación por año.

## 2) Reducción de consumo de energía al sustituir lámparas tecnología t12 por t8.

### Situación actual:

En la empresa están instaladas 300 lámparas (de las 1600) de 40 W y tecnología T-12 que se encienden 4,608 horas al año. Esta tecnología se caracteriza por usar balastro electromagnético que demanda un 25% de potencia adicional.

### Solución :

Se recomienda un cambio de iluminación de tecnología T-12, por lámparas de 32 Watts de tecnología T-8, que permiten mayor iluminación con menor consumo de energía y mayor vida útil reflejada en mayor cantidad de hora de trabajo. Este tipo de tecnología usa balastro electrónico y no demanda más potencia que lo nominal.

### La demanda de este sistema de iluminación es de:

$$\text{KW totales} = \frac{\# \text{ de lamparas} \times \text{potencia} \times \text{FB}}{1000}$$

$$\text{KW totales} = \frac{300 \times 40 \times 1.25}{1000} = 15 \text{ KW}$$

El sistema estaría demandando 15 kW durante 4608 horas del año, es decir que consume:

$$\text{Kwh al año} = \text{Potencia} \times \text{horas de uso} = (15 \text{ kW})(4608 \text{ horas/año}) = 69,120 \text{ Kwh/año.}$$

### La demanda de este nuevo sistema será:

$$\text{KW totales} = \frac{\# \text{ de lamparas} \times \text{potencia} \times \text{FB}}{1000}$$

$$\text{KW totales} = \frac{300 \times 32 \times 1}{1000} = 9.6 \text{ KW}$$

Trabajando en las mismas condiciones antes mencionadas, 4,608 horas al año que el sistema base, la energía consumida de este nuevo sistema será de 44, 236 Kwh al año.

Kwh ahorrados = Kwh actuales – Kwh propuestos

$$\text{Kwh ahorrados} = 69,120 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} - 44,236 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} = 24,883 \frac{\text{KWh}}{\text{año}}$$

Se ahorrara por demanda y por consumo una cantidad de US\$ 5,971.9 y se dejara de emitir al ambiente una cantidad de 5768 kg de CO2.

Para adquirir este sistema nuevo de iluminación hará falta un inversión de US\$ 2400 que se recuperara en un periodo de 2.4 años.

## 11. Conclusiones

En la auditoria eléctrica realizada a la empresa Plastinic ahora plásticos Modernos se logró constatar la posibilidad de ahorros significativos anuales en equipos como : Aire acondicionado ,motores eléctricos e Iluminación gracias a los datos históricos de consumo y las mediciones de campo en cada uno de los equipos estudiado .

Según la hipótesis planteada: "Se puede realizar una auditoria eléctrica en una pequeña o mediana empresa que permita visualizar las oportunidades de áreas de ahorro de energía en la misma ", en el caso de la empresa Plastinic si resulta necesario la implementación de pequeños proyectos que permitan ahorrar energía y además hacer una buena administración de la misma.

Se identificaron tres sectores para ahorro potencial de energía

1. Aire acondicionado
  - a. Apagar el aire acondicionado cuando no se trabaja
  - b. Sustitución de equipos de climatización
2. Motores eléctricos
  - a. Sustitución de motores con bajo factor de carga
  - b. Cambio de motor de eficiencia estándar a Premium
3. Iluminación
  - a. Eliminar alumbrado innecesario
  - b. Reducción de consumo por reemplazo de tecnología T-12 por T-8

## 12. Recomendaciones

- Apagar el aire acondicionado después de la jornada laboral
- Programar los equipos del tipo “split” para que enciendan media hora después de la llegada a la oficina.
- Realizar tareas de mantenimiento y limpieza de filtros en los equipos de aire acondicionado.
- El trabajo del compresor se disminuirá si se baja la temperatura del condensador. Muchas veces estos quedan expuestos a la intemperie, encima de techos directamente expuestos a la radiación solar, provocando una alta temperatura con efectos negativos en el desempeño del ciclo de refrigeración. Se recomienda instalar estas unidades bajo sombra en donde se encuentren a una temperatura cercana a la del ambiente en donde su desempeño sea óptimo.
- Realizar un inventario de motores para identificar los de mayor potencia, consumo y uso, y analizar la posibilidad de sustitución y reordenamiento según requerimiento de los procesos.
- Sustituir o reubicar los motores que están trabajando a sobre carga o a un porcentaje menor al 40%. Contar con un programa de arranque de motores y maquinaria para evitar picos de demanda.
- Contar con un plan de mantenimiento preventivo.
- Corregir desbalanceo o diferencias de voltaje.
- Instalar equipos de control de la operación y variadores de velocidad.
- Instalar un banco de capacitores, controles de voltaje y mejorar las conexiones a tierra
- Alinear correctamente el motor y el equipo accionado
- Colocar controles de consumo.
  
- Revisar el alumbrado y eliminar el innecesario, y cuando no se labore, mantener encendido solamente las luces necesarias por seguridad de la planta y el servicio de vigilancia.
- Sustituir focos o lámparas incandescentes por ahorrativos (LED, Fluorescentes T8, T5, entre otros).

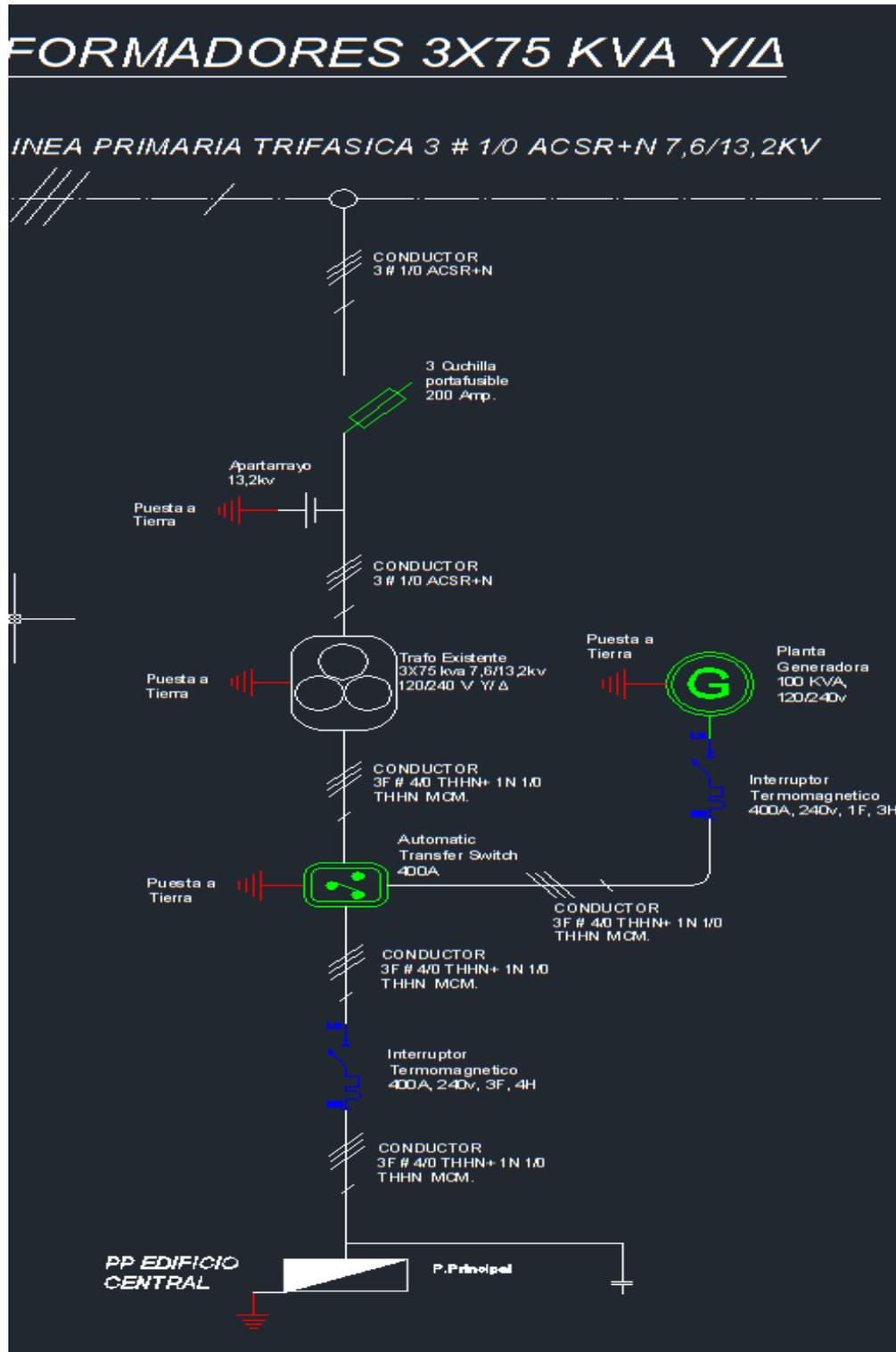
- Evaluar la posibilidad de colocar láminas traslucidas o domos solares fin de que se pueda aprovechar la luz natural.
- Tener un sistema de interruptores por sector o área para optimizar las horas de funcionamiento.
- Instalar equipos de control como: sensores de presencia, nivel de iluminación, equipo central programable.

## 12. Bibliografía

1. Comisión de Comunidades Europeas. (2005). Libro Verde de la Comisión Europea. En C. d. Europeas, Sobre la eficiencia energética; cómo hacer más con menos.
2. Energylab, Golder Associates. (2008). Eficiencia Energética en el Sector de los Áridos. Estudio Sectorial, Vigo.
3. Esteban, L., Feijóo, M., & Hernández, J. (2002). Eficiencia energética y regulación de la industria ante el cambio climático. Zaragoza: Dept.de Análisis Económico Universidad de Zaragoza.
4. IDAE. (2009). Guía práctica de la energía, consumo eficiente y responsable.
5. Manual de procedimientos para el uso eficiente de la energía en la industria y el comercio. Comisión de Energéticos México, 1977.
6. Investigación del Buró de eficiencia energética de la India. [http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful\\_download.php](http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful_download.php)
7. Programa de eficiencia energética, ministerio de economía de la república del salvador banco interamericano de desarrollo CT No ATN/OC-11265E
8. Nassir Sapag Chain. Preparación y Evaluación de Proyectos 2da Edición.
9. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
10. Compendio de opciones de eficiencia energética, elaborado por CPmL-N. Managua, Nicaragua 2010.

### 13. Anexos

#### Banco de transformadores de 3 x 75 KVA



## Banco de transformadores de 3 x 50 KVA

